

# TECHNIQUES DE STABILISATION PAR DRAINAGE DES GRANDS VERSANTS INSTABLES

## 1. INTRODUCTION

Les grands versants instables ne peuvent être facilement stabilisés par des solutions mécaniques, compte tenu de l'importance des masses en jeu.

Si on cherche à les stabiliser et s'il est possible d'identifier le vecteur eau déstabilisateur, une solution pourra être de chercher à drainer l'aquifère déstabilisant, les actions mécaniques étant des actions d'accompagnement : construction d'une butée de pied, actions de terrassement et d'assainissement permettant de limiter l'infiltration du ruissellement superficiel...

Dans les actions de drainage profond, les solutions classiques de tranchées drainantes et de drains subhorizontaux ne sont pas applicables : les tranchées ne sont pas assez profondes et les drains subhorizontaux trop longs, leurs tirs rectilignes ascendants étant difficiles à gérer, surtout en présence de blocs.

Nous présentons ci-après nos recommandations concernant dans ce cadre :

- les solutions de gestion de la non infiltration du ruissellement superficiel,
- les principes de drainage des grands glissements :
  - ✓ les drains mixtes collecteur / infiltrant,
  - ✓ les drains pompés type drains électropneumatiques,
  - ✓ les drains-siphons,
  - ✓ la valorisation de ces drains par le principe de l'électro-osmose.

## 2. GESTION DE LA NON INFILTRATION DU RUISSELLEMENT SUPERFICIEL

Les bassins versants des grands glissements présentent une grande superficie  $S$  pour une pente moyenne  $\tan \alpha$ ,  $\alpha$  étant l'angle de la pente avec l'horizontale.

Le sol à sa surface affiche une perméabilité maximale à saturation de  $k_{SAT}$ .

Le débit capable d'infiltration de ce bassin versant est donné par :

$$Q_I = k_{SAT} S \cos \alpha$$

La perméabilité  $k_{SAT}$  varie suivant les ordres de grandeur suivants :

sols	$k_{SAT}$ m/s
pierrier	$10^{-2} \text{ } 10^{-3}$
moraine de grave sableuse	$10^{-3} \text{ } 10^{-4}$
sable aréneux	$10^{-4} \text{ } 10^{-5}$
limon sableux caillouteux	$10^{-5} \text{ } 10^{-6}$

L'intensité d'une pluie de référence de fréquence de retour décennale sur la station de CHALLE LES EAUX est de :  $\frac{2662}{15.26 + t}$  en mm/h pour t en minutes.

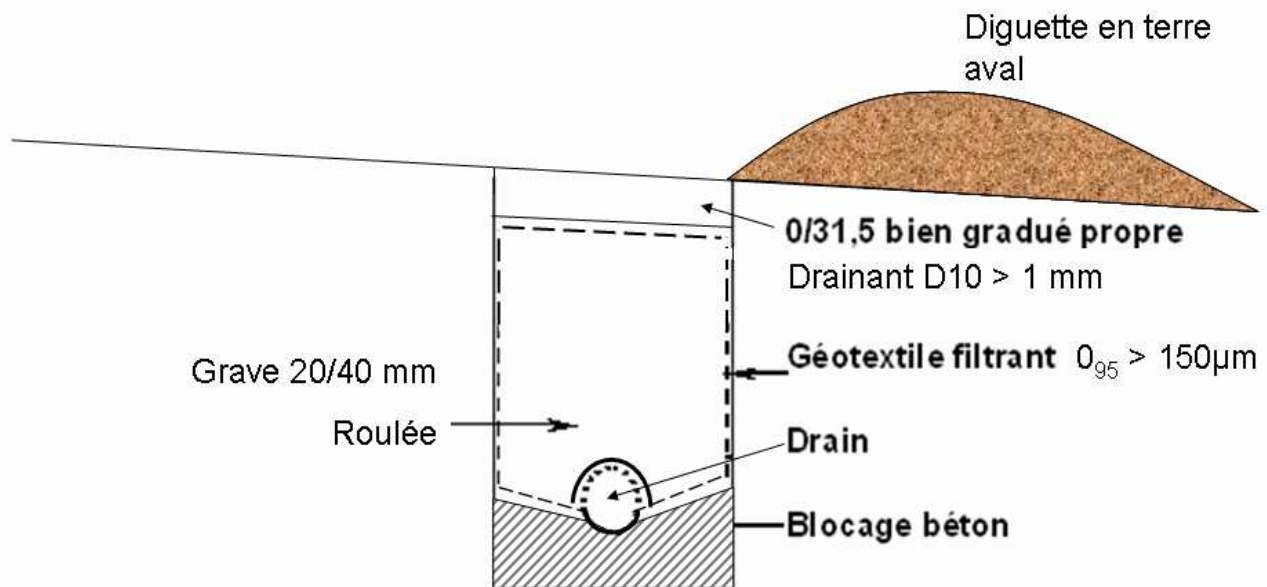
Pour une pente de 25 % et en comparant  $k_{SAT}$  à  $i/\cos \alpha$ , il vient pour i en m/s :

T (minutes)	6	15	30	60	120	180	240	300	360
$i/\cos \alpha$ m/s	$3.4 \times 10^{-5}$	$2.5 \times 10^{-5}$	$1.65 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-5}$	$5.6 \times 10^{-6}$	$3.9 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-6}$	$2.5 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-6}$

Ce n'est que pour des perméabilités en-deçà de ces valeurs, que la pluie ruisselle ; sinon, elle s'infiltré entièrement rechargeant fortement les aquifères.

Il faudra donc toujours chercher à éviter l'infiltration :

- ✓ en éliminant les contrepentes ou les zones plates,
- ✓ en diminuant les temps de parcours de l'eau en implantant un réseau de tranchées drainantes à fil d'eau imperméabilisé en arêtes de poisson, assainie par un collecteur souple axial,



- ✓ éliminer les chevelus hydrographiques,
- ✓ ne pas déboiser, mais essayer de maintenir les arbres à une hauteur maxi de 10m,
- ✓ ne pas décaper la terre végétale ; au contraire, en implanter, quand elle est absente (essayer système allemand FRISOL).

### **3. PRINCIPES DE DRAINAGE DES GRANDS GLISSEMENTS**

Pour drainer les grands glissements de terrain, la solution consiste à implanter plusieurs lignes de drains verticaux, suivant des courbes de niveau de préférence et à intervalles faibles (3 à 8m suivant la perméabilité).

L'avantage des drains verticaux est de recouper tous les aquifères à assainir.

On constate, concernant les aquifères :

- ✓ qu'ils sont souvent multiples, superposés,
- ✓ qu'ils peuvent être profonds pour certains, si on veut tous les atteindre,
  
- ✓ qu'un épisode dramatique va souvent être la saturation simultanée de tous les aquifères, la pression interstitielle en profondeur ressentant brutalement la piézométrie de l'aquifère supérieur par ce biais et par le biais de la mise en saturation de tous les aquifuges intermédiaires.

Un certain nombre de techniques géophysiques peuvent nous aider à l'implantation :

- ✓ le potentiel spontané,
- ✓ les panneaux électriques,
- ✓ NUMIS LITE ou NUMIS PLUS.

Compte tenu de leurs profondeurs, ces drains sont conçus comme une alternance de parties collectrices sur 5 mètres de hauteur et de batardeaux de 1 mètre.

Au droit des parties collectrices, crépinées industriellement, est implanté un géodrain filtre avec géotextiles à porométrie  $O_{95} \geq 150 \mu\text{m}$ . Ce géotextile peut être doublé extérieurement par une fonction électrique comme développé au paragraphe 7.

Au droit des parties en PVC plein, est implanté un batardeau en caoutchouc, avec manchette intérieure, gonflé au coulis de bentonite ciment, de façon à obliger l'eau à rentrer régulièrement dans les parties crépinées et non pas à s'écouler entre le PVC et la paroi du forage.

La première tentative, la plus économique, va être d'aller chercher en profondeur, en dessous du glissement, un aquifère profond, permettant l'infiltration de l'eau collectée.

Cette possibilité est développée au paragraphe 4.

Si cela n'est pas possible, il faudra vider les drains par pompage : celui-ci pourra être de type électropneumatique pour des profondeurs supérieures à 10 mètres de rabattement souhaité (paragraphe 5) ou de type drain siphon pour des profondeurs inférieures (paragraphe 6).

Enfin, compte tenu des perméabilités faibles auxquelles on est confronté, on pourra avoir recours à une recherche de valorisation des drains par un principe d'électro-osmose (paragraphe 7).

#### 4. LES DRAINS MIXTES COLLECTEUR / INFILTRANT

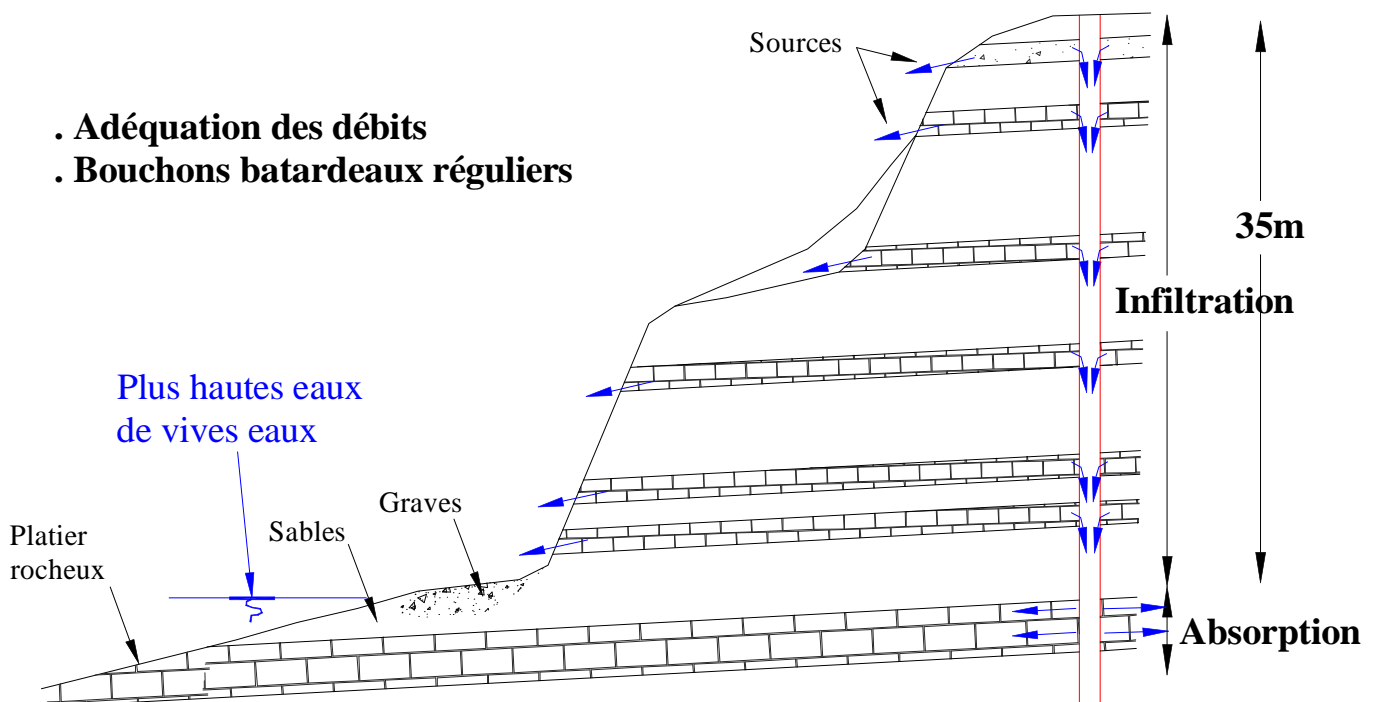
Cette possibilité a, par exemple, été envisagée sur les falaises de WIMEREUX près de BOULOGNE / MER.

Ici, on est dans un contexte de niveaux calcaires ou sableux en tête, aquifères, séparés par des niveaux marneux.

L'aquifère le plus profond donne dans la mer et est découvert pour partie à marée basse (platier rocheux).

#### *FALAISES DE WIMEREUX*

- . Adéquation des débits
- . Bouchons batardeaux réguliers



Les drains verticaux sont disposés en ligne, protégés en tête par des regards de visite, deux collecteurs de jonction de regard à regard permettent pour l'un l'évacuation de l'eau qu'il faudrait éventuellement pomper, pour l'autre le passage des équipements de pompage.

L'idée ici est bien de chercher à ne pas pomper, en envoyant l'eau dans le 7ème aquifère, mais le dispositif doit pouvoir être équipé en pompes si nécessaire. Il faut aussi garder à l'esprit que les caractéristiques météorologiques et piézométriques sont fluctuantes.

Le niveau d'eau dans le drain va se stabiliser à une hauteur  $\Delta h$  au dessus du milieu de la lanterne de coefficient de forme  $m$ , de diamètre  $D$  et de hauteur  $h$ , tels que  $Q_i = m k \Delta h D = Q_c$ .

On vérifiera au cas par cas que la valeur de  $\Delta h$  est acceptable.

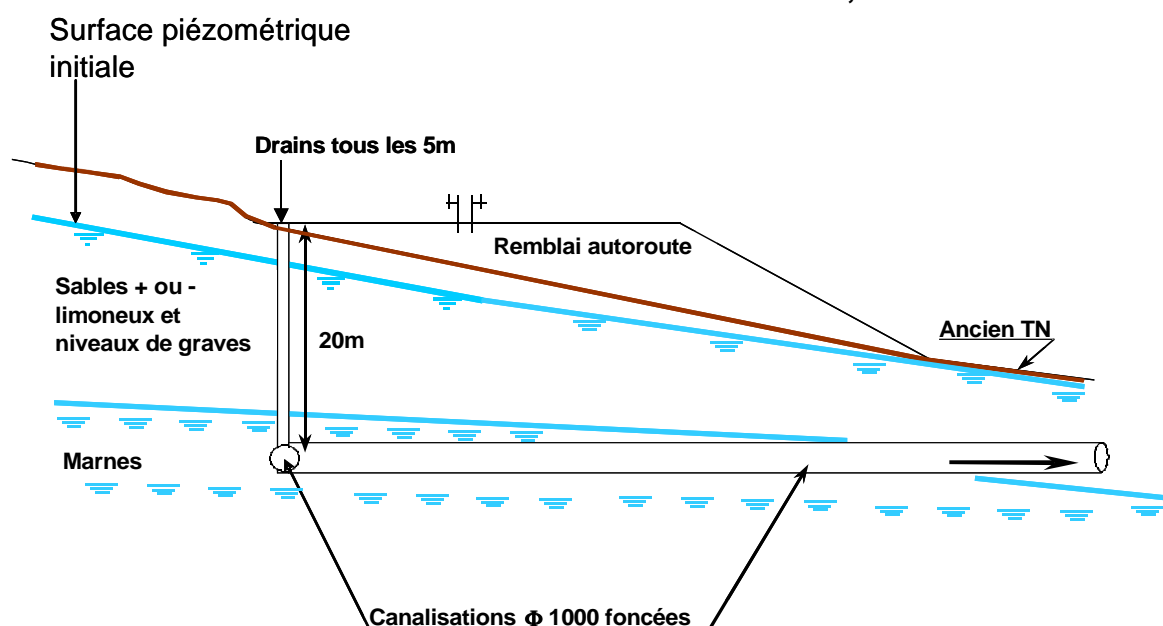
Une phase délicate est le forage, quand il y a risque d'entraînements de fines, par exemple ici du niveau 1 et par ce qu'il y a perte d'eau totale dans la couche 7. On peut être confronté à l'apparition d'un entonnoir d'affaissement en surface.

Cela peut obliger à télescoper et à équiper la couche 1 en plus gros diamètre.

Si certains drains ne peuvent être évacués gravitairement :

- ✓ soit ils sont pompés comme développé aux paragraphes 5 et 6,
- ✓ soit on crée un exutoire artificiel, comme cela a été fait sur l'autoroute A7, en forant une galerie de drainage, dans laquelle débouchent les drains verticaux.

### A7, Col du Grand Boeuf



Le perçage du collecteur devait être ici réalisé après équipement du drain en batardeaux, sinon on assistait à un débouillage des limons sableux et sables limoneux, le perçage du collecteur se traduisant par une chute brutale de l'eau du forage dans le collecteur.

L'avantage du système est qu'il est gravitaire ; par contre, il est évidemment très cher à l'investissement (fosse de départ, fosse d'arrivée, fosse de changement de direction et ici fonçage du collecteur).

## **5. LES DRAINS POMPES TYPE ELECTROPNEUMATIQUES® (TP-GEO)**

Si on ne peut pas évacuer les drains verticaux gravitairement, on peut avoir recours à des pompes.

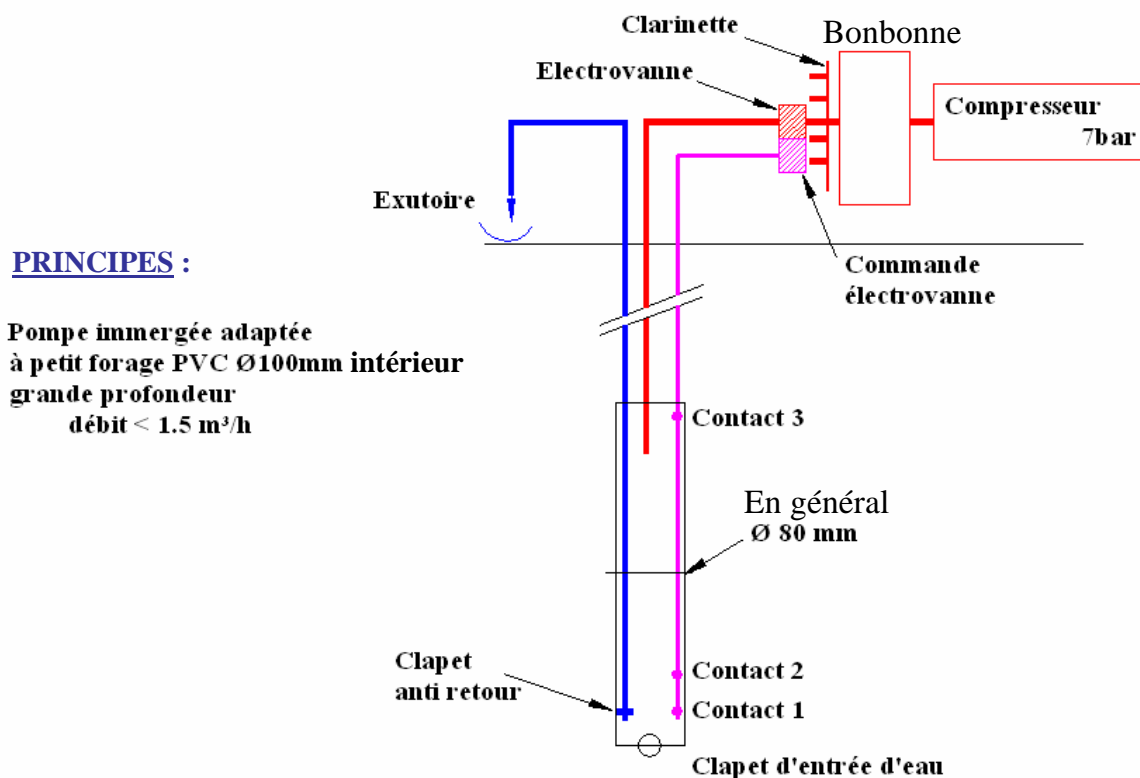
Les pompes immergées classiques ne sont pas adaptées, les débits de pompage étant en général très variables et pouvant être faibles.

Une solution possible est le drain électropneumatique, mais il consomme de l'énergie :

- ✓ celle-ci étant facilement modulable. Au départ on vide la capacité réservoir du site et les débits peuvent être importants, mais rapidement, on n'a plus à gérer que le débit d'alimentation, nettement plus faible,
- ✓ celle-ci pouvant être fournie par des panneaux photovoltaïques ou par une éolienne moyenne, laquelle peut fournir directement de l'air comprimé, qui va être la source énergétique de base.

Les principes sont :

- ✓ implanter dans chaque forage une pompe cylindrique, constituée d'un cylindre fermé en partie supérieure, équipé en partie inférieure d'un clapet,
- ✓ placer dans la pompe ou à l'extérieur, un détecteur de niveau d'eau, chaque câble de détection rejoignant un abri dans lequel est placé un tableau d'électrovannes et de commandes d'électrovannes,
- ✓ faire arriver en sommet de pompe, un tuyau d'arrivée d'air comprimé en provenance d'une clarinette piquée sur une bonbonne tampon d'air, comprimé entre 5 et 7 bar, alimentée par un compresseur ou une éolienne,
- ✓ faire sortir de la pompe un tuyau d'évacuation de l'eau pompée, vers le collecteur de surface.



Un petit compresseur suffit (deux pour les pannes). Le débit doit nécessairement être de 3 fois le débit à pomper.

L'avantage majeur est de pouvoir pomper jusqu'à des profondeurs de 40 mètres voir plus en étagant les pompes dans le forage ; par contre, le débit est en général limité à 1.5 m<sup>3</sup>/h par pompe.

## 6. LES DRAINS SIPHONS® (TP-GEO)

L'avantage du drain siphon est son fonctionnement gravitaire : sans énergie aucune et non désamorçable.

Il utilise le principe de vases communicants entre deux réservoirs permanents d'eau installés sur une même horizontale :

- ✓ à l'amont, un tube en PVC plein de 3m de hauteur,
- ✓ à l'aval, la forme de U de l'ombilic de siphonnage.

La dénivelée entre le point haut de l'ombilic de siphonnage et le plan de référence est inférieur à :

$$H \leq 9,50 - \frac{1,16 X}{1000} - \frac{\theta^\circ \text{ Celsius}}{73,6}$$

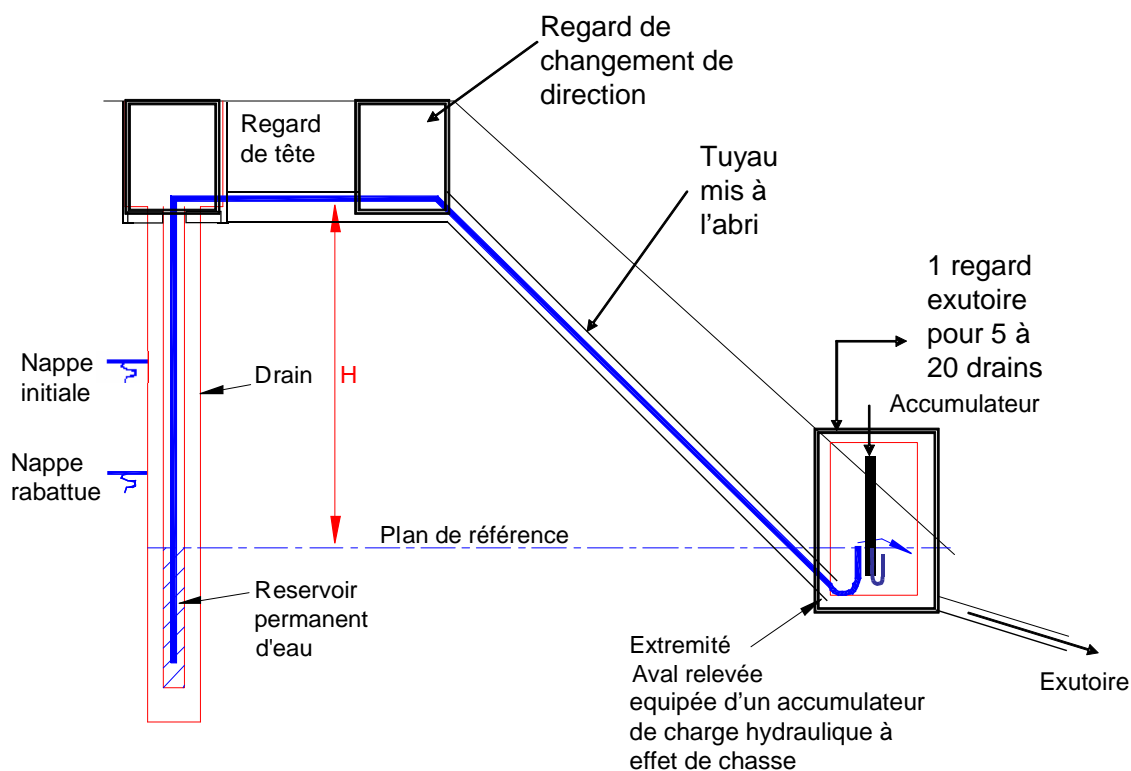
H : en m.

X : altitude de l'eau en m.

$\theta$  : température de l'eau en degrés Celsius si  $\theta \leq 30^\circ$ , attention si  $\theta$  supérieur, la correction est différente.

La partie aval en U est équipée d'un accumulateur de charge hydraulique à effet de chasse, automatique, sans énergie, pour faire travailler l'ombilic à un débit minimal supérieur au débit critique permettant d'évacuer les bulles de dégazage.

Chaque forage a son propre ombilic. Le diamètre de l'ombilic est calé sur le débit de crue du forage, observé pendant une phase de recharge des nappes.





Un regard exutoire peut regrouper de 5 à 20 drains.

Il est recommandé de limiter les longueurs des ombilics de siphonnage à 100 mètres, avec pièges à bulle intermédiaires, en général tous les 25m.

## 7. VALORISATION DES DRAINS PAR UN PRINCIPE D'ELECTRO-OSMOSE

Les sols à drainer dans les glissements de terrain sont souvent peu perméables.

Les perméabilités faibles inférieures à  $10^{-5}$  m/s sont associées à des teneurs en eau de rétention élevées.

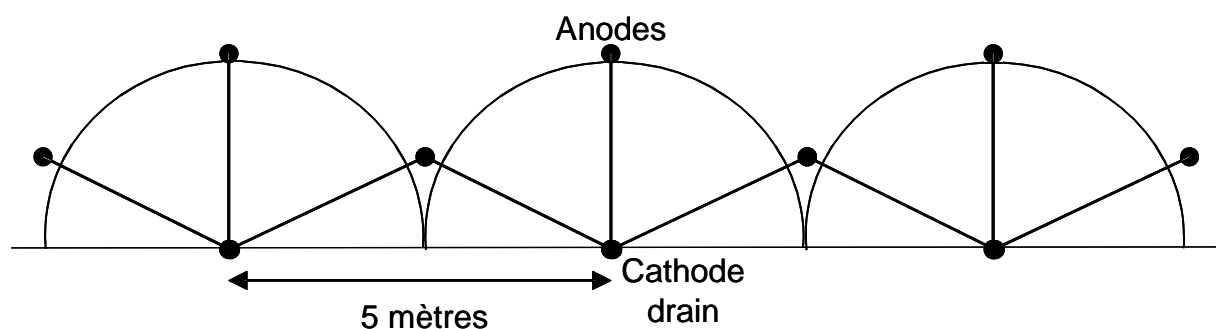
Pour valoriser les drains, il peut alors être envisagé d'ériger le drain en cathode et d'implanter, associés à 1 cathode, trois anodes en cercle, ces lignes de cathodes et anodes étant reliées à un courant continu, favorisant la migration de l'eau vers les cathodes, en créant une succion électrique entre les anodes et les cathodes.

L'alimentation électrique peut être ici le redressement du courant alternatif du secteur en courant continu ou le courant continu produit par des panneaux photovoltaïques.

On peut contribuer à la stabilisation du glissement de terrain par :

- ✓ le renforcement mécanique des tubes en acier des anodes,
- ✓ l'injection d'électrolyte aux anodes et la dissolution des anodes.

Des plots d'essais seront nécessaires au cas par cas.



## **8. CONCLUSIONS**

Des techniques récentes de drainage profond des glissements de terrain, permettent aujourd'hui d'envisager la stabilisation de grands glissements que l'on se serait contenté de suivre, il y a une dizaine d'années.

Les techniques complémentaires d'électro-osmose permettent d'augmenter la performance des techniques de pompage de la seule eau gravitaire disponible.

Enfin, les reconnaissances préalables disposent aujourd'hui d'outils permettant d'avoir une meilleure connaissance des aquifères à drainer.

Fontaines, le 27.12.2010

Directeur Technique HYDROGÉOTECHNIQUE  
Jean-Claude GRESS.